

# MATERIALES: LA CORROSIÓN, SU TRADICIÓN Y ALCANCES

Ing. Samuel Rosario Francia\*, Ing. Juan Carlos Yácono Llanos\*\*

## RESUMEN

La corrosión en sus dos aspectos, de enseñanza e investigación, tiene una larga tradición en las diferentes instituciones tecnológicas y científicas. En el Perú, se estima que las pérdidas por corrosión superan el 8 % del Producto Nacional Bruto, lo que significó que para el año 2000 éstas alcanzaran cerca de 1 200 millones de dólares, de los cuales al sector de las industrias químicas y del petróleo les corresponde 120 millones de dólares. Este costo es menos sorprendente si consideramos que la corrosión ocurre con una gama de grados de severidad donde quiera que metales y otros materiales sean usados. Sin embargo, si se aplicaran adecuadamente a esta problemática los conocimientos ya existentes, se lograría reducir las pérdidas sin necesidad de nuevos avances o desarrollo de nuevos materiales en un 25 a 30% aproximadamente. Más aún, queremos que empresarios, profesionales, estudiantes y público en general sepan que tenemos un enemigo común que se llama corrosión, contra el cual debemos luchar para que los procesos sean más limpios, más eficientes, con mayor rentabilidad y así todos podamos tener una vida sana en un medio cada vez más limpio.

El presente artículo tiene por objetivo presentar de una manera general el problema de la corrosión y sus posibles soluciones, aun cuando no se pretende indicar cuál es la mejor solución posible a casos específicos.

**Palabras clave:** Corrosión, pérdidas, materiales.

## ABSTRACT

Corrosion in both aspects teaching and research has a long tradition in the different technological and scientific institutions. In Peru the estimated losses due to corrosion are more than 8% GNP (Gross National Product) which means that for the year 2000 the losses would reach 1 200 millions dollars. The losses from the chemical and petroleum industries would be around 120 millions dollar. This amount is less surprising if we consider that corrosion occurs in different severity grades where ever metals and other materials are used. However if the already existing knowledge would be applied the right way, losses could be reduced in 25% to 30%, without new advances or the development of new materials. More ever, we want that businessman, professionals, students and public in general be aware that corrosion is our common enemy. We all have to fight in order that the processes would be cleaner, more efficient and more profitable so that everybody can have a healthy life in a healthier environment.

The articles has the objective to present in a general way, the problem of corrosion and possible solutions, however, is doesn't pretend to indicate which is the best solution to specific case.

**Key words:** Corrosion, losses, materials.

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente industrialización en el Perú en los últimos años trae como consecuencia muchos problemas de corrosión. Los boletines informati-

vos sobre corrosión en países altamente industrializados señalan que se gasta aproximadamente entre 50 a 100 dólares americanos por habitante por año en corrosión y su prevención. Las consecuencias de la corrosión pueden ser ca-

\* Profesor del Departamento de Ingeniería Metalúrgica. UNMSM.

\*\* Profesor Universidad de Lima.

tastróficas no sólo en las estructuras metálicas, edificaciones, puentes, embarcaciones, aviones etc., sino en vidas humanas. Conocer y aplicar los conceptos básicos de corrosión en la selección de materiales, el diseño y su cuidado o prevención es importante para el desarrollo de un país.

Por ejemplo, algunas plantas industriales gastan cerca de 500 mil dólares anuales para el pintado de acero con la finalidad de prevenir la oxidación y herrumbre; las plantas de ácido sulfúrico gastan de 50 a 100 mil dólares anuales para el mantenimiento contra la corrosión aun cuando las condiciones de corrosión no son consideradas severas. En la planta de refinería de petróleo, empleando nuevos procesos desarrollados para problemas serios de corrosión, después de casi cuatro meses de operación algunas partes mostraron una pérdida por corrosión de cerca de 3 mm de su espesor.

La corrosión en sistemas de combustible de los automóviles, radiadores de los sistemas de refrigeración, tubos de escape, representa cerca de 20 millones de dólares anuales, y algo semejante ocurre en los sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico y los sistemas de aire acondicionado que se cambian frecuentemente, es decir, los gastos por problemas de corrosión son bastante significativos.

En efecto, nuestra economía cambiaría drásticamente SI NO HUBIERA CORROSIÓN.

Por ejemplo, los automóviles, los barcos, las tuberías enterradas, las estructuras de plantas industriales, las estructuras caseras, no requerirían pinturas anticorrosivas. La industria del acero inoxidable desaparecería y el cobre sería usado sólo para propósitos eléctricos. Muchas plantas metálicas, así como productos de consumo serían fabricados de acero y hierro fundido.

La corrosión toca y está en todo, el interior y exterior de las casas, sobre la carretera, en el mar, en las plantas industriales, en los vehículos aeroespaciales, en uno mismo, etc.

PERO, MIENTRAS QUE LA CORROSIÓN ES INEVITABLE, SUS COSTOS PUEDEN SER CONSIDERABLEMENTE REDUCIDOS.

Por ejemplo, un ánodo de magnesio, que es barato, duplicaría la vida de un tanque calentador de agua doméstico. El lavado de un carro ayuda a eliminar las sales. La propia selección de un material y un buen diseño disminuyen los costos de corrosión. Un buen programa de mantenimiento

de pintura se paga por sí sólo. Es aquí donde el ingeniero de corrosión ingresa en el cuadro y es efectivo: su primera función es COMBATIR LA CORROSIÓN.

Aparte de este costo directo en dólares, la CORROSIÓN ES UN SERIO PROBLEMA debido a que definitivamente contribuye al agotamiento de nuestros recursos naturales.

El presente artículo tiene por objetivo presentar de una manera general el problema de la corrosión y, más que buscar posibles soluciones a problemas específicos, nuestra intención es ir creando conciencia en la lucha contra la corrosión, que finalmente es una gran economía.

## II. INGENIERÍA DE CORROSIÓN

La Ingeniería de Corrosión es la aplicación de la ciencia y el arte para prevenir o controlar los daños de corrosión económicamente, con seguridad y sin peligro.

### 2.1. Corrosión

Se puede definir de varias maneras:

1. La destrucción o deterioro de un material debido a la reacción con el medio que lo rodea.
2. La destrucción de un material por otros medios directamente mecánicos.
3. Termodinámicamente, los materiales buscan alcanzar condiciones estables, los metales oxidados alcanzan alta estabilidad; entonces se diría que la corrosión es un proceso inverso a la metalurgia extractiva. (Figura 1)

Muchas de las pérdidas enunciadas se deben a la corrosión del fierro y del acero, aunque muchos otros metales también pueden corroerse.

Podemos definir la corrosión como el daño que sufren los materiales por las acciones del medio en que se encuentran, produciendo pérdidas en sus propiedades mecánicas de resistencia, lo que da lugar a cambios en la geometría de las estructuras y componentes que les hacen perder la función para la cual estaban determinadas, ocasionando:

- Pérdidas directas, como el cambio de estructuras y equipos corroídos.
- Pérdidas indirectas, como la pérdida de producción por suspensión temporal de los sistemas productivos y las instalaciones, y la contaminación de los bienes creados.



**Figura N.º 1. Muestra la espontaneidad del proceso de corrosión**

- ? Pérdidas de recursos naturales escasos.
- ? Pérdidas de bienestar y vidas humanas.
- ? Pérdidas de la eficiencia.
- ? Sobredimensionamiento.
- ? Aumento de los costos de explotación.

Son pérdidas cuantiosas que para el caso del Perú, país en vía de desarrollo, se cifran en no menos del 8 % de PNB.

La corrosión afecta a todos los materiales cualquiera que sea el tipo de actividad o sector que se considere. Los plásticos pueden hincharse o agrietarse y romperse; la madera, abrirse o pudrirse; el granito, erosionarse, y el cemento Portland, lixivarse. Los daños causados por medios físicos no se denominan corrosión sino erosión, abrasión o desgaste. En algunos casos, el ataque químico va acompañado de daños físicos y entonces se denomina corrosión-erosión, desgaste corrosivo o corrosión por fricción.

La "herrumbre" es producto de la corrosión del hierro y de los materiales en los que éste es el metal base. En este proceso de oxidación se forman productos de corrosión compuestos en su mayor parte por óxidos hidratados. Los metales no ferrosos se corroen pero no se aherrumbran.

Todos los procesos de corrosión se fundan en equilibrios. Si se ha alcanzado un equilibrio, se para el proceso de la corrosión, mientras que un equilibrio que evoluciona significa la continuación del proceso de corrosión.

## 2.2. ¿Qué hacer ante este problema?

Analizando los casos que con mayor frecuencia están delante de nosotros, diríamos que la mayoría de las fallas por corrosión tienen causas ya conocidas, y que ésta ocurre por no aplicar los fundamentos y conocimientos básicos de los mecanismos de corrosión. Se puede afirmar que:

Una adecuada aplicación de los conocimientos ya existentes y con tecnología sencilla, sin tener necesidad de desarrollar nuevos materiales, muchos de ellos complejos en su fabricación, permitirá controlar la corrosión y la disminución significativa de pérdidas no sólo directas sino indirectas en los procesos productivos.

Como resultado de este primer enfoque, se recomendaría básicamente:

- ? Aumentar la motivación en la lucha contra la corrosión.

- ? Ampliar la información y la educación sobre la corrosión y formas de luchar contra la misma.

Se puede conseguir en nuestro medio, aunque con alguna dificultad, informaciones técnico-científicas que cubren el amplio espectro del tema de la corrosión. Internacionalmente, los temas se tratan exhaustivamente en revistas específicas y congresos, por lo que aquí no se pretende dar soluciones específicas a problemas concretos que se puedan presentar en la industria o en la vida de cada día. Aceptando que el enemigo existe y conociendo cuáles son sus insidiosas actividades, podemos prepararnos para la lucha con éxito seguro.

Es necesario crear una cultura contra la corrosión; no solo son los conocimientos, sino también el comportamiento que tengamos y la toma de decisiones en el tiempo oportuno lo que hará posible un mayor rendimiento con menor deterioro y contaminación del medio. Hay algunos conceptos o mitos que debemos desterrar para lograr este objetivo, los cuales señalamos a continuación y que consideramos son los más importantes, aun cuando ustedes pueden tener otros.

### 2.3. Conceptos tradicionales o mitos en torno a la corrosión

#### 2.3.1. Primer concepto o mito

Una primera idea es afirmar que el agua pura no es corrosiva. El agua de gran pureza, es decir, el agua condensada, destilada, desionizada, desmineralizada, si contiene algo de oxígeno, si está aireada, realmente es muy agresiva frente al acero no revestido (*hungrywater*).

Por desaireación del agua, se logra inhibir tal corrosión. Podemos señalar que los mejores materiales para contener agua desmineralizada son el aluminio, los aceros inoxidables austeníticos del tipo AISI 304 y los aceros al carbono protegidos con el espesor adecuado de resinas epoxi-fenólicas

#### 2.3.2. Segundo concepto o mito

Otra idea que asiste inmediatamente es que "el acero inoxidable" generalmente resiste a todos los ambientes. Sin embargo, lo primero que debemos recordar es

que "no existe el acero inoxidable", sino que hay muchos tipos de aceros inoxidables (*stainless*

*steels*) y, segundo, que, si bien estos aceros tienen amplia aplicación para resistir a la acción corrosiva, también presentan algunas limitaciones.

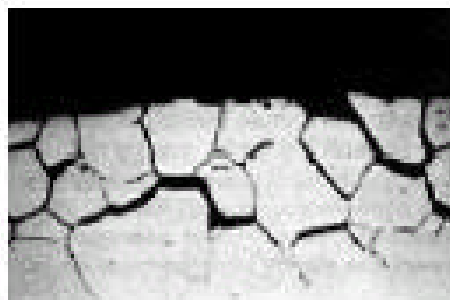
Es así cómo los aceros inoxidables en presencia de soluciones de cloruros acompañados de esfuerzos de tracción son fácilmente destruidos por la corrosión bajo tensión y son menos resistentes que los aceros no aleados. También son más susceptibles que otros aceros de ser atacados de forma intergranular, en particular los aceros inoxidables austeníticos, que, cuando son tratados térmicamente de un modo inadecuado, también sufren corrosión por picaduras y en resquicios. Del mismo modo ocurre con el duraluminio (4% Cu).

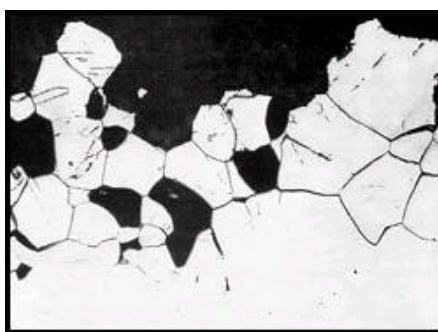
En primer lugar, se deberá tener en cuenta que los tipos de acero inoxidable a los que hacemos referencia son los AISI tipos 304 y 316.

- ? El tipo 304SS es una aleación con base de hierro que contiene un mínimo de 18% de cromo y 8% de níquel como elementos principales de la aleación.
- ? El tipo 316SS es similar al 304, salvo que el contenido de níquel es mayor: un mínimo de 10%, y se agrega entre un 2 y un 3% de molibdeno.

Ambas aleaciones presentan características de resistencia a la corrosión en virtud de la presencia de una fina película protectora de óxido de cromo o capa de pasivación, que se forma naturalmente cuando se expone la superficie del metal al oxígeno. Cuando esta capa está intacta, el metal está protegido. Pero si la película sufre penetración, daño o destrucción, se pierde esta protección y la corrosión puede ocurrir muy rápidamente. La película protectora es particularmente susceptible al ataque de los iones de los cloruros.

Los aceros inoxidables deben ser usados adecuadamente, con prudencia, distinguiendo cuándo su empleo es malo y es mejor huir de ellos.





**Figura 2.** Corrosión intergranular causada por presencia de cloruros en un acero inoxidable austenítico

### 2.3.3. Tercer concepto o mito

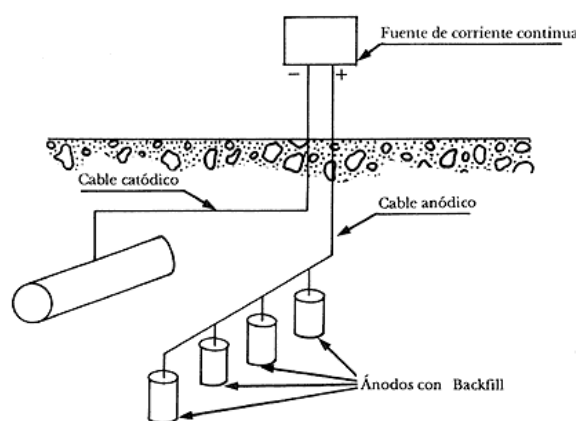
Siempre pensando en el ahorro, se dice que no es necesario instalar o poner operativo el sistema de protección catódica, sino luego de algún tiempo, tres o cinco años después de instalada la estructura, porque durante ese tiempo la corrosión no tiene la suficiente actividad como para producir la perforación, y que en todo caso es más ventajoso proyectarlo de una forma más realista cuando ya está la estructura instalada, que estimar parámetros de proyecto sometidos a amplias variaciones durante la instalación.

Sin embargo, debemos decir que desde el punto de vista práctico es muy probable que se presenten fallas antes de los tres años, lo que sugiere que el retraso en hacer operativa la protección catódica puede dar origen a fugas, con pérdidas de producto, daños a personas y cosas, contaminaciones de cursos de agua, explosiones, etc.

Si bien en el Perú no se han reportado accidentes graves debidos a fallas por corrosión, en otros países, como por ejemplo España, en la ciudad de Ortuella-Vizcaya, en octubre de 1980 se produjo la muerte de cerca de 50 personas.

Una variante de esta fábula es que las corrientes vagabundas son cosas raras o no existen.

La protección catódica habrá que considerarlas desde las primeras etapas del proyecto y ponerla operativa desde el principio al realizar la instalación.



**Esquema de protección catódica con corriente impresa de una tubería enterrada.**



**Ánodos de sacrificio (zinc) distribuidos a lo largo del casco**

### 2.3.4. Cuarto concepto o mito

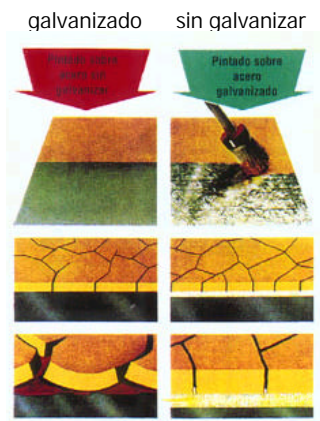
Surge otra idea cuando se trata de estructuras metálicas protegidas con pinturas: "Lo más importante son los efectos de la preparación de superficie y el espesor del revestimiento, y lo de menos es la calidad de la pintura". Podemos afirmar que entre el 80 al 90% de las superficies metálicas protegidas contra la corrosión se hace mediante revestimientos por pintura.

El precio de la pintura líquida significa un 20% del conjunto de los costos de pintado; en ambientes muy agresivos, no parece lógico buscar ahorros significativos en la pintura en sí. En ambientes agresivos el tipo de pintura es decisivo para lograr la protección buscada, para el tiempo especificado.

Una inadecuada elección de la pintura será causa de daños imprevistos y reparaciones costosas.

Debemos indicar que no existe “la pintura ideal” que sea de aplicación universal. Existen muchas alternativas para cada situación y desde las primeras etapas del proyecto debe estudiarse la selección del sistema de pintado (no sólo el tipo de pintura) adecuado para cada ambiente concreto implicado en el desarrollo de la ingeniería de detalle.

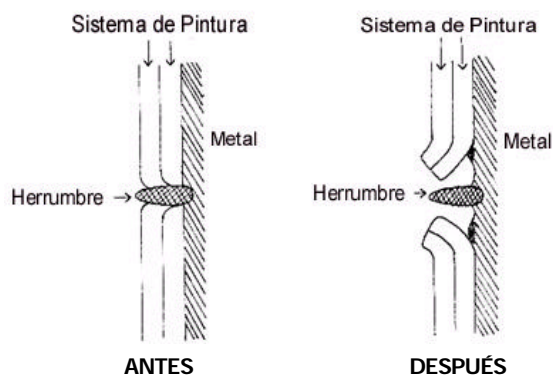
Pintado sobre acero



Comparación entre la protección proporcionada por un sistema dúplex y un sistema convencional



Discontinuidad de película



Esquema que muestra la ruptura de la película de pintura

### 2.3.5. Quinto concepto o mito

Siempre pensamos que el material nuevo es homogéneo, isotrópico y sin defectos.

Esta es una hipótesis que constituye la base del cálculo mecánico de estructuras y equipos por la teoría de la elasticidad. La realidad es otra, y nos demuestra constantemente que los materiales no son homogéneos, ni isotrópicos y están llenos de defectos. La mecánica de la fractura, reconociendo esta realidad, postula la necesidad de aprender a convivir con fisuras y ha permitido avances considerables en conseguir estructuras y equipos más fiables.

La existencia de muchas heterogeneidades y defectos estructurales en los materiales son de vital importancia en el comportamiento frente a la corrosión que actúa a escala atómica. Los bordes de grano son heterogeneidades que se corroen más fácilmente que los granos en los metales.

La presencia de distintos estados tensionales en una misma pieza hace que unas zonas sean más fácilmente atacadas que otras. El resultado de la deformación en frío de los metales, y la presencia de fisuras que actúan como concentradoras de esfuerzos es que esas zonas sean rápidamente atacadas.

### III. CONCLUSIONES

Es necesario recordar siempre que:

- Se pueden establecer variados criterios para clasificar los diferentes modos de corrosión que se presentan. Las informaciones de muchos investigadores señalan que por lo menos hay 16 mecanismos por los que la corrosión nos ataca en forma incesante destruyendo nuestras instalaciones.
- La corrosión llega a causar pérdidas en muchos productos que se han obtenido con mucho esfuerzo.
- No olvidar que la corrosión causa pérdidas humanas.
- Hay muchas ideas erróneas que son barreras para plantear un enfrentamiento racional y resolver el problema.
- Hoy existe información disponible, la cual bien difundida y utilizándola adecuadamente permitiría en gran parte resolver el problema de minimizar los daños de la corrosión.
- Seguramente se dirá que hay nuevos materiales que soportan la acción corrosiva; sin em-

bargo, podemos decir que habrá nuevos materiales pero también nuevos ambientes que darán lugar a fenómenos de corrosión conocidos o nuevos que exigirán nuevas investigaciones.

#### IV. RECOMENDACIONES

El presente artículo solo pretende advertir a los ingenieros de diseño, inversionistas, empresarios, gobierno, entidades científicas y tecnológicas, profesionales de todas las carreras, médicos y estudiantes en general sobre la importancia que debemos dar a los fenómenos de la corrosión por los

daños que causa, y que el apoyo económico a las investigaciones en este campo quedará plenamente justificado.

#### V. BIBLIOGRAFÍA

1. HIDALGO, Pedro José. "Aspectos Fundamentales de la Protección contra la Corrosión". Revista *Corrosión y Protección*. Julio-Agosto, 1976.
2. MAZZA, Luis A. "La Protección Catódica. Técnicas de Control de la Corrosión". V Congreso Argentino de Ingeniería-1972.